

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平3-38835

⑪ Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成3年(1991)2月19日

H 01 L 21/331
29/205
29/78

8225-5F

8225-5F H 01 L 29/72

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全6頁)

⑭ 発明の名称 半導体結晶

⑮ 特 願 平1-172907

⑯ 出 願 平1(1989)7月6日

⑰ 発 明 者 岩 田 直 高 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内

⑱ 出 願 人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目7番1号

⑲ 代 理 人 弁理士 岩佐 義幸

明 細 書

1. 発明の名称

半導体結晶

2. 特許請求の範囲

(1) InPにほぼ格子整合する組成域のn形または中性のInAlGaAs層の上に、InPにほぼ格子整合する組成域のp形GaAs層、更にその上にInPにほぼ格子整合する組成域のn形InAlGaAs層を有することを特徴とする半導体結晶。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、各界面の熱安定性に優れ、かつベース層での正孔のとじ込めにも優れたヘテロ接合バ

注目され、盛んに研究されてきた。現在では、衛星放送受信用のプリアンプや光通信装置など実際の製品にも組み込まれ、日常生活に浸透しつつある。ところで、III-V族化合物半導体のデバイスには、その特長を最大限に生かすため、ヘテロ構造を有するものが多い。例えば、衛星放送受信用のプリアンプに用いられている2次元電子ガス電界効果トランジスタや、光通信で用いられている半導体レーザ等は、その代表である。しかしながら、そのヘテロ界面構造の信頼性が確立されたわけではない。例えば、ここでn-InAlAs/p-InGaAs/n-InGaAs構造からなるヘテロ接合バイポーラトランジスタを想定してみる。この素子では、n-InAlAsエミッタ層

特開平 3-38835

タの大電流動作時に異動的なベース層の厚さが増加してしまう、いわゆるカーク効果（アイアーリー トランザクションズ オン エレクトロン デバイスイズ [IRE Trans. on Electron Devices ED-9 (1962) 104]）が生じてしまう欠点はそのまま有している。

この欠点を回避するには、コレクタ層を InAlGaAs 層とする、いわゆるダブルヘテロ構造のバイポーラトランジスタも考えられるが、この場合は、コレクタ層に InGaAs 層を用いた場合より電子のコレクタ走行時間が長くなり、素子の動作速度が遅くなる欠点がある。いずれにせよ、 $n\text{-InAlAs}$ エミッタ層と $p\text{-InGaAs}$ ベース層のヘテロ界面の急峻性は重要であり、界面状態は素子特性に重要な影響を及ぼす。ところで、実際の素子作製には熱処理プロセスを行うが、界面が熱的に不安定である場合には相互拡散等が生じ、界面の急峻性が崩れ、素子特性の劣化が生じる。またこの劣化は、ヘテロ層の成長温度が高い場合にも同様な理由で生じる。従来こ

の劣化を防ぐためには、成長温度を下げると共に、素子作製プロセスにおいても、相互拡散等による劣化が無視できるような十分に低い温度で行っていた。

〔発明が解決しようとする課題〕

素子作製プロセスにおいて、熱処理温度は、界面での相互拡散等による劣化が無視できるような十分に低い温度であるという制約は、素子作製プロセスに大きな制限を加えるものである。また結晶成長においても、低温成長では、結晶性の高いウエハを得ることは困難である。さらに加えて、ヘテロ接合バイポーラトランジスタをパワー増幅素子とした場合に要求される高温での大電力動作という可能な条件下では、同様に界面の熱的不安定性により、素子特性の劣化も危惧される。

本発明の目的は、以上に述べたような欠点のない、即ち熱安定性に優れ、しかもベース層での正孔のとじ込めにも優れ、更にバイポーラトランジスタの大電流動作時に問題となるいわゆるカーク効果の無いヘテロ接合バイポーラトランジスタを

3

作製するための半導体結晶を提供することにある。
〔課題を解決するための手段〕

本発明の半導体結晶は、 InP にほぼ格子整合する組成域の n 形または中性の InAlGaAs 層の上に、 InP にほぼ格子整合する組成域の p 形 GaAsSb 層、更にその上に InP にほぼ格子整合する組成域の n 形 InAlGaAs 層を有することを特徴とする。

〔作用〕

ヘテロ接合は、異種の物質が界面で接続されている構造であり、熱が加えられれば、互いに拡散し、混ざり合い弱い性質を有している。例えば AlAs/GaAs 界面の熱安定性は比較的良く調べられており、 650°C 以上の熱処理温度で相互拡

4

その組成組成域内に不安定な混合領域を有するものがある。混合不安定とは、一体には混ざり合いにくいということであり、 $\text{A}_{1-x}\text{B}_x\text{C}_{1-y}\text{D}_y$ 形の三元系の場合、例えば AB と CD のように、相分離してしまうことである。このことを熱平衡論的に言うならば、即ち多元組成の溶液が固化する場、多元混晶結晶として析出するよりも幾つかの例えば二元系または三元系の結晶として相分離し、析出することがエネルギー的に安定であるということである。

ここで、 InP にほぼ格子整合する組成域の n 形または中性の InAlGaAs 層の上に、 InP にほぼ格子整合する組成域の p 型 AlGaAsSb ベース層、更にその上に InP にほぼ格子整

特開平 3-38835C

ナル オブ アブライド フィジックス (J. Appl. Phys. 21 (1982) 4323) }。それぞれの四角形は、それぞれの四元素系の組成全域を示している。即ち、四角形の角が二元系、各辺が三元系、四角形の内部が四元系である。

各曲線14~17の数字の100倍はそれぞれの四元素系溶液から固体の結晶を析出させる時の温度を示しており、その曲線の内部が不安定な混合組成領域である。すなわち、曲線14は析出温度 400℃での安定域と不安定域の境界を、曲線15は析出温度 600℃での安定域と不安定域の境界を、曲線16は析出温度 800℃での安定域と不安定域の境界を、曲線17は析出温度1000℃での安定域と不安定域の境界を示している。

点線11~13は、格子定数が等しい組成を示しており、点線11はInPに格子整合する組成域を、点線12はInAsに格子整合する組成域を、点線13はGaSbに格子整合する組成域を示している。

ここで例えばInAlAsSb系の不安定な混合領域を見ると、それは組成域全体に大きく広が

っていることが分かる。従って例えば 400℃のInAlAsSb系混合溶液からは、混晶組成の固体はほとんど得られず、InAs、InSb、AlAsまたはAlSbの二元系に近い組成の固体がモザイク状に析出することが予想される。逆に言うならば、このInAlAsSb系では二元系に近い組成の固体が安定であると言える。即ち、例えばInAsとAlSbのヘテロ接合を想定した場合、熱処理した場合でも混晶化してInAlAsSb混晶となるよりも、InAsとAlSbのヘテロ接合のままの方がエネルギー的に安定であるということである。同様のことは第1図から分かるように、AlGaAsSb系とInGaAsSb系についても言えるので、総合的には、InAlGaAs系とInAlGaSb系のヘテロ接合界面は熱的に安定であると言える。ところで実際には、一般に入射可能であり、しかも第1化等を想定した場合、寄生容量の発生が少なく良質な高抵抗基板が得られるInP結晶基板にほぼ格子整合する組成のヘテロ接合界面を想定すること

7

8

が適当であろう。

従って、この制約よりInAlGaAs系とAlGaAsSb系の組み合わせと結論される。

しかしながらAlGaAsSb系には第1図から分かるように、その組成域中に大きな不安定な混合領域が広がっており、組成全域での使用は適当でないと判断される。第1図からは、AlAsSbとGaAsSbが比較的に安定であることが分かる。

特にGaAsSbは、間接遷移形半導体であるAlAsSbと異なり直接遷移形半導体であり、電子移動度が大きく、ベース層材料として魅力的である。従って、ヘテロ接合界面の熱安定性からも実質的な利用の面からも、InAlGaAs系

InAlGaAsエミッタ層を有するヘテロ接合バイポーラトランジスタ用半導体結晶の熱安定性は高い。

更に、本発明が提案したn-InAlGaAs/p-GaAsSb/n-InAlGaAsのバンド構造は、ベース層のp-GaAsSbの価電子帯上端が、エミッタ層とコレクタ層のn-InAlGaAsの価電子帯上端より高く、ベース層の正孔はベース層内に完全にとじ込められる。従って、バイポーラトランジスタの大電流動作時に実効的なベース層の厚さが増加してしまう、いわゆるカー効果の問題も回避できる。

従って本発明によれば、熱安定性に優れているばかりではなく、デバイス特性的にも一つのヘテ

特開平 3-38835 (

である。このヘテロ接合バイポーラトランジスタ用のウエハは、分子線成長法により半導体膜のInP基板上に530℃で作製した。構造は、高抵抗InP基板21上に、バッファ層として厚さ5000Åのn-In_{0.52}As_{0.48}層22、コレクタコンタクト層として厚さ3000Å、電子濃度 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のn'-In_{0.54}Ga_{0.46}As層23、コレクタ層として厚さ5000Å、電子濃度 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のn-In_{0.52}Ga_{0.48}As層24、ベース層として厚さ1000Å、正孔濃度 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のp'-GaAs層25、エミッタ層として厚さ1500Å、電子濃度 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のn-In_{0.52}As_{0.48}層26、エミッタ層とエミッタコンタクト層を電気的に導けらなにつなぐ層としてAl組成xが0.48から0まで変化した厚さ500Åのn-In_yAs_{1-x}Ga_{1-y}Asグレーデッド層(y≒0.5)27、最後にエミッタコンタクト層として厚さ500Å、電子濃度 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のn'-In_{0.54}Ga_{0.46}As層28を設けたものである。オーミック金属29はAuGe/Au、またオーミック金属30はAuMn/Au

である。

このヘテロ接合バイポーラトランジスタのバンド構造を第3図に示す。このヘテロ接合バイポーラトランジスタのエミッタ接合での電流増倍率は100であり、600℃、30分間の水素中での熱処理後においても、その特性はほとんど劣化しなかった。

〔発明の効果〕

以上のように本発明の半導体結晶によれば、熱的に安定なヘテロ接合が得られるため、結晶成長温度や異子作製のためのプロセス温度の制限が大幅に緩くなるばかりではなく、ベース層での正孔のどじ込めにも優れ、しかもカーク効果の無いヘテロ接合バイポーラトランジスタが作製できる。さらに本発明の半導体結晶を利用して作製した素子は、苛酷な湿度条件下でも長時間良好で安定な動作が期待できることは明らかである。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の原理、即ち不安定な混合領域を示す図、

11

第2図は、本発明の構造を利用して作製したヘテロ接合バイポーラトランジスタの断面図、

第3図は、第2図のヘテロ接合バイポーラトランジスタのバンド構造である。

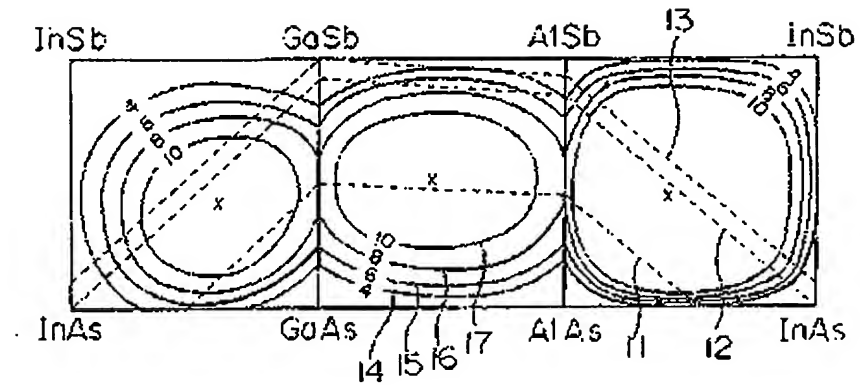
- 11 InPに格子整合する組成域
- 12 InAsに格子整合する組成域
- 13 GaSbに格子整合する組成域
- 14 析出温度400℃での安定域と不安定域の境界
- 15 析出温度600℃での安定域と不安定域の境界
- 16 析出温度800℃での安定域と不安定域の境界
- 17 析出温度1000℃での安定域と不安定域の境界

12

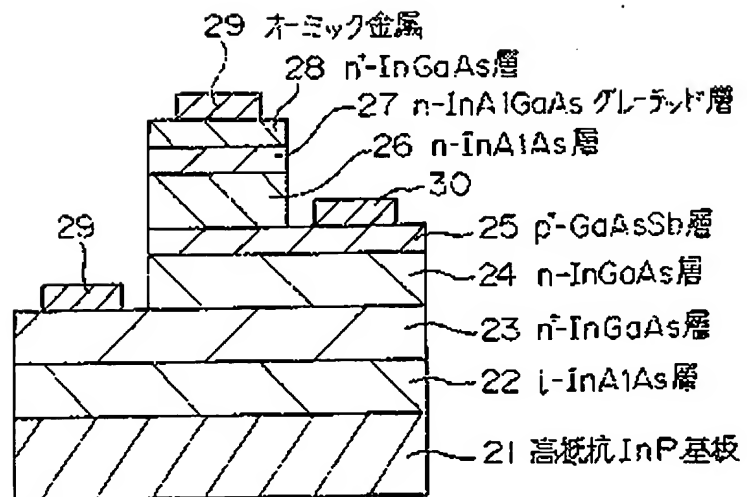
- 25 n-InAs層
- 27 n-InAlGaAsグレーデッド層
- 28 n'-InGaAs層
- 29, 30 オーミック金属

代理人 弁理士 岩 佐 義 幸

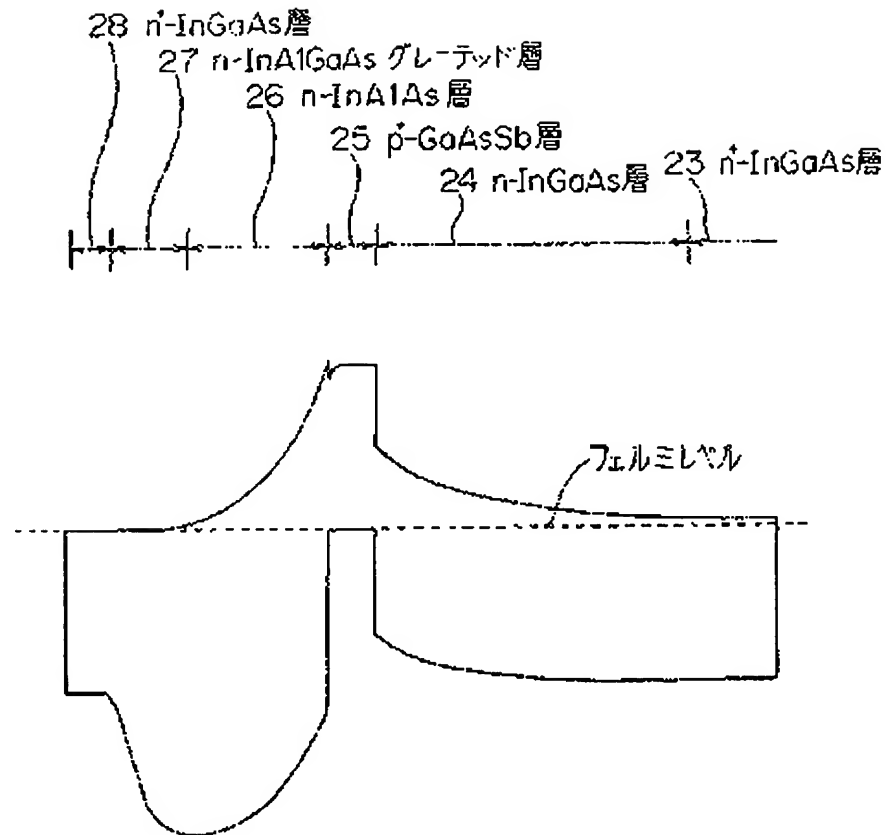
特開平 3-38835C



第 1 図



特開平 3-38835(



第 3 図